Atmosferska korozija metala i metalnih legura

Ević, Valentina

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Metallurgy / Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:115:612884

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-26**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU METALURŠKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF METALLURGY

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Valentina Ević

ZAVRŠNI RAD

Sisak, rujan 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Valentina Ević

ATMOSFERSKA KOROZIJA METALA I METALNIH LEGURA

ZAVRŠNI RAD

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Anita Begić Hadžipašić

Stručni voditelj: Sandra Brajčinović, mag. ing. met.

Članovi ispitnog povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Ljerka Slokar Benić – predsjednica
Izv. prof. dr. sc. Anita Begić Hadžipašić – članica
Doc. dr. sc. Ivana Ivanić – članica
Prof. dr. sc. Stjepan Kožuh – zamjenski član

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY
SISAK

◈ FAKULTETSKO VIJEĆE ◈

KLASA: 602-04/20-04/14
URBROJ: 2176-78/20-04-/1R

Sisak, 15. srpnja 2020.

Temeljem točke IX. Naputka o završnom radu i završnom ispitu Pravilnika o studiranju na preddiplomskim studijima i diplomskom studiju Metalurškog fakulteta i članka 23. Statuta Metalurškog fakulteta, Fakultetsko vijeće na svojoj 10. redovitoj sjednici od 15. srpnja 2020. godine (t. 3), a na prijedlog Povjerenstva za nastavu, donosi sljedeću

ODLUKU

o odobravanju teme, imenovanju voditelja i stručnog voditelja i Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada

I.

Studentici preddiplomskog sveučilišnog izvanrednog stručnog studija *Ljevarstvo* **VALENTINI EVIĆ** (LJ-17-1) za voditeljicu završnog rada pod naslovom "Atmosferska korozija metala i metalnih legura" ("Atmospheric Corrosion of Metals and Metal Alloys") imenuje se **izv.prof.dr.sc. Anita Begić Hadžipašić**, a za stručnu voditeljicu **Sandra Brajčinović, mag.ing.met.**

II.

Studentici iz točke I. ove Odluke imenuje se Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada u sastavu:

1. izv.prof.dr.sc. Ljerka Slokar Benić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – predsjednica,
2. izv.prof.dr.sc. Anita Begić Hadžipašić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – članica,
3. doc.dr.sc. Ivana Ivanić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – članica,
4. prof.dr.sc. Stjepan Kožuh, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – zamjenski član.

III.

Ova Odluka stupa na snagu danom donošenja.

IV.

Protiv ove Odluke može se uložiti prigovor Fakultetskom vijeću Metalurškog fakulteta u roku 8 dana od dana primitka iste.

Dostavljeno:
1 x Valentina Ević
5 x voditelj, stručni voditelj, članovi Povjerenstva
1 x Studentska referada
1 x Tajništvo
1 x pismohrana Fakultetskog vijeća
1 x pismohrana

Obnašateljica dužnosti dekana
Metalurškog fakulteta

izv.prof.dr.sc. Zdenka Zovko Brodarac

Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet
Aleja narodnih heroja 3; p.p.1; HR - 44103 Sisak
tel.: +385(0)44 533378; 533379; 533380; 533381
faks: +385(0)44 533378
e-mail: dekanat@simet.hr; url: www.simet.unizg.hr

IME: Valentina

PREZIME: Ević

MATIČNI BROJ: U-17-1

Na temelju članka 19. stavak 2. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu dajem sljedeću

IZJAVU O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je moj **završni** / diplomski / doktorski rad pod naslovom:

ATMOSFERSKA KOROZIJA METALA I METALNIH LEGURA

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Sisak, _____

_____
(vlastoručni potpis)

Izrazi koji se koriste u ovoj Izjavi, a imaju rodno značenje, koriste se neutralno i odnose se jednako i na ženski i na muški rod.

Zahvala

Prvenstveno bih se željela zahvaliti svojoj voditeljici izv. prof. dr. sc. Aniti Begić Hadžipašić i stručnoj voditeljici Sandri Brajčinović, mag. ing. met., koje su mi sa svojim savjetovanjem i posvećenim vremenom uvelike pomogle s izradom završnog rada.

Posebnu zahvalnost željela bih izraziti obitelji, braći i dečku koji su mi bili velika podrška, ne samo za vrijeme izrade završnog rada, nego tijekom cijelog studija.

Sažetak

ATMOSFERSKA KOROZIJA METALA I METALNIH LEGURA

U ovom radu definirana je atmosferska korozija te je dana njezina podjela prema stupnju vlažnosti korodirajuće površine. Pobliže je objašnjen mehanizam atmosferske korozije te su opisani faktori koji utječu na brzinu atmosferske korozije. Sve navedeno je pobliže prikazano primjerima atmosferske korozije metala i metalnih legura te su navedene određene metode njihove zaštite od navedenog tipa korozije.

Ključne riječi: korozija metala, atmosferska korozija, antikorozijska zaštita

Summary

ATMOSPHERIC CORROSION OF METALS AND METAL ALLOYS

In this paper, atmospheric corrosion is defined and its division according to the degree of humidity of the corroding surface is given. The mechanism of atmospheric corrosion is explained in more detail and the influence of factors on the atmospheric corrosion rate is described. All of the above are presented in detail with examples of atmospheric corrosion of metals and metal alloys, and certain methods of their protection against the specified type of corrosion are listed.

Keywords: metal corrosion, atmospheric corrosion, corrosion protection

POPIS SLIKA

Slika 1. Oksidacija metala u vrućem zraku [3]
Slika 2. Kemijska korozija blok zakovica i zakivnih matica [6]
Slika 3. Shematski prikaz procesa elektrokemijske korozije [2]
Slika 4. Pourbaixov dijagram za željezo [3]
Slika 5. Elektrokemijska korozija limenke za pakiranje voćnog kompota [9]
Slika 6. Biokorozija trupa broda [13]
Slika 7. Različiti oblici korozijskog oštećenja kod lokalne korozije [1,16]
Slika 8. Primjer djelovanja atmosferske korozije na ogradi [19]
Slika 9. Brzina korozije u ovisnosti o debljini sloja vlage na površini [7]
Slika 10. Mehanizam atmosferske korozije [20]
Slika 11. Utjecaj koncentracije soli NaCl na brzinu korozije [22]
Slika 12. Utjecaj morske vode na metalne dijelove [22]
Slika 13. Prikaz korozije bakra na spomeniku [24]
Slika 14. Prikaz korozije pribora za jelo načinjenog od srebrove legure [25]
Slika 15. a) Katodna zaštita vanjskim izvorom istosmjerne struje,
b) katodna zaštita protektorom [11]
Slika 16. Shematski prikaz prevlaka za površinsku zaštitu [29]
Slika 17. Zaštita Eiffelova tornja od korozije pomoću zaštitnih prevlaka [14]
Slika 18. Ugradnja bitumenskih traka [31]
Slika 19. Blok motora očišćen mehaničkim i kemijskim putem
Slika 20. Blok motora zaštićen temeljnom bojom
Slika 21. Blok motora zaštićen od korozije kromovom prevlakom

POPIS TABLICA

Tablica 1. Niz standardnih potencijala nekih redoks-sustava u vodenim otopinama odgovarajućih iona na 25°C i njihovi temperaturni koeficijenti [8]
Tablica 2. Utjecaj karaktera atmosfere na brzinu korozije [7]
Tablica 3. Prikazane stope korozije čelika na surferskoj plaži na Lagosu [18]

POPIS OZNAKA, KRATICA I POKRATA

a_{ox} – aktivitet oksidiranog oblika,
a_{red} – aktivitet reduciranog oblika,
E – izmjerena vrijednost elektrodnog potencijala,
E^{θ} – standardni elektrodni potencijal,
F – Faradayeva konstanta,
Me – metal,
MeO – metalni oksid,
PB-omjer – Pilling-Bedworthov omjer,
R – opća plinska konstanta,
T – termodinamička temperatura,
z – broj elektrona koji se izmjenjuje u redoks reakciji,
ν_{ox} – stehiometrijski koeficijent oksidiranog oblika,
ν_{red} – stehiometrijski koeficijent reduciranog oblika.

SADRŽAJ

Izjava o izvornosti
Zahvala
Sažetak
Summary
Popis slika
Popis tablica
Popis oznaka, kratica i pokrata

1. UVOD 1
2. KOROZIJA I PODJELA KOROZIJSKIH PROCESA 2
   2.1. Vrste korozije prema mehanizmu djelovanja 2
   2.1.1. Kemijska korozija 2
   2.1.2. Elektrokemijska korozija 4
   2.2. Vrste korozije prema uvjetima odvijanja korozijskog procesa 8
   2.3. Vrste korozije prema obliku korozijskog oštećenja 9
3. ATMOSFERSKA KOROZIJA 11
   3.1. Podjela atmosferske korozije prema stupnju vlažnosti 12
   3.2. Mehanizam atmosferske korozije 13
   3.3. Faktori koji utječu na brzinu atmosferske korozije 14
   3.4. Atmosferska korozija na različitim metalima i njihovim legurama 18
4. METODE ZAŠTITE OD ATMOSFERSKE KOROZIJE 20
   4.1. Elektrokemijska zaštita 20
   4.2. Zaštita obradom korozijske sredine 21
   4.3. Zaštita prevlakama 22
5. ZAKLJUČAK 28
6. LITERATURA 29
ŽIVOTOPIS 31

1. UVOD

Korozija (lat. corrodere: nagrizati) je nenamjerno razaranje konstrukcijskih materijala, uzrokovano fizikalnim, kemijskim i biološkim djelovanjem [1-6]. Korozija smanjuje životni vijek materijala, a nikome nije u cilju skratiti vijek trajanja neke konstrukcije. Također, ona poskupljuje održavanje metalnih konstrukcija, čime uzrokuje gubitke u proizvodnji, zastoje u radu, havarije i nesreće, ugroženost zdravlja ljudi, ekološke katastrofe, propadanje kulturne baštine i sl. [1].

Korozija se najčešće dijeli prema mehanizmu djelovanja na kemijsku i elektrokemijsku [1-3]. Atmosferska korozija je najrašireniji oblik korozije, koji slijedi mehanizam elektrokemijske korozije. Rezultat je djelovanja čimbenika kisika i vlage. U nedostatku jednoga od njih, ne dolazi do korozije. Pa tako u suhom zraku, kao što je onaj ispod ledišta vode, ili kod relativne vlažnosti manje od 60%, čelik neće korodirati. Stoga, korozija je zanemariva u polarnim predjelima i u vrućim pustinjskim krajevima [1].

Atmosferska korozija je posebno izražena u industrijskim zonama i u primorskim predjelima. U posebnim stanicama za ispitivanje atmosferske korozije prati se intenzitet korozije na uzorcima izloženim industrijskoj, gradskoj, morskoj i ruralnoj sredini.

Ekonomsko značenje korozije je veliko i ono raste s industrijalizacijom. Stvarnu štetu od korozije je teško izračunati i ona naglo raste primjenom skupih metala koji su osjetljivi na koroziju. Osim metala korodirati mogu i ostali materijali poput betona, keramike, stakla i polimernih materijala [1,2]. Budući je čelik najzastupljeniji metalni konstrukcijski materijal, više se pažnje posvećuje proučavanju njegove otpornosti na različite oblike korozije i primjeni njegove adekvatne antikorozijske zaštite.

Od konstrukcijskih materijala se očekuje da uz što nižu cijenu imaju izvrsna mehanička svojstva i svojstva obradljivosti [3]. Iz toga proizlazi veliki značaj pravovremene i kvalitetne zaštite od korozije. Drugim riječima, ponekad je ekonomski isplativije primijeniti jeftiniji konstrukcijski materijal, ali ga dobro zaštititi od korozije. Najčešće metode zaštite materijala od korozije su: elektrokemijska zaštita, zaštita odabirom korozijski postojanih materijala, konstrukcijske mjere zaštite i zaštita prevlakama [1]. Pritom, zaštitne prevlake su najrašireniji proizvod za zaštitu od korozije. Koriste se za dugotrajnu zaštitu različitih konstrukcija u širokom rasponu korozijski agresivnih okoliša, počevši od izlaganja atmosferilijama pa sve do najzahtjevnijih eksploatacijskih uvjeta u postrojenjima kemijske industrije.

Budući je atmosferska korozija najrasprostranjeniji oblik korozije, u ovom radu će se pobliže objasniti mehanizam njezinog djelovanja, faktori koji utječu na brzinu atmosferske korozije te metode zaštite koje se najčešće primjenjuju u borbi protiv ovog oblika korozije.

2. KOROZIJA I PODJELA KOROZIJSKIH PROCESA

Korozija je spontani proces propadanja materijala, pri čemu metal teži povratku u svoje termodinamički stabilnije stanje (oksidi, sulfidi, hidroksidi) [3]. Podrazumijeva interakciju metala ili legure s okolinom, zbog čega njezina brzina i tijek ovise o svojstvima metala i okoline.

Oštećenja uzrokovana korozijom često se mogu predvidjeti te se onda primjenjuju mehanizmi i mjere kojima se usporava korozijski proces, jer se korozija u principu ne može spriječiti. Međutim, postoje i slučajevi kada je nemoguće predvidjeti korozijska oštećenja i lom materijala, a to su slučajevi poput napetosne korozije ili fenomena vodikove krhkosti koji se ubraja u specijalne slučajeve plinske korozije [4].

U novije vrijeme potrebno je više pažnje posvetiti koroziji i zaštiti metala od korozije zbog [1]:

- ubrzanog razvoja i primjene novih metalnih proizvoda za specijalne namjene, koji zahtijevaju konstrukcijske materijale s poboljšanim svojstvima,
- primjene metalnih konstrukcija tanjih dimenzija i
- pojačane agresivnosti okoline uzrokovane povećanim zagađenjem vode, zraka i tla.

Budući je područje korozije vrlo raznoliko i široko, postoji nekoliko podjela [1,5]:

- prema mehanizmu djelovanja,
- prema uvjetima odvijanja korozijskog procesa i
- prema obliku korozijskog oštećenja.

2.1. VRSTE KOROZIJE PREMA MEHANIZMU DJELOVANJA

Prema mehanizmu djelovanja koroziju metala dijelimo na kemijsku i elektrokemijsku koroziju [1-3]. Budući atmosferska korozija slijedi mehanizam elektrokemijske korozije, ovaj oblik će biti detaljnije opisan, dok će ostali oblici korozije biti spomenuti i opisani u najkraćim crtama.

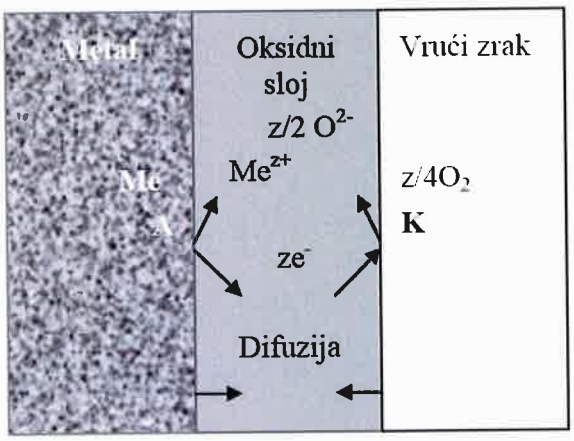
2.1.1. Kemijska korozija

Metali i legure prilikom različitih postupaka prerade i obrade, odnosno tijekom eksploatacije pri visokim temperaturama, reagiraju sa zrakom ili s drugim plinovima koji sadrže bilo kisik bilo njegove spojeve [3]. Kemijska korozija je korozija koja se odvija u neelektrolitima. To je zapravo proces oksidacije metala u kojem se metal spaja s kisikom iz suhih vrućih plinova. U tim plinovima ima kisika i njegovih spojeva (ugljikov dioksid i dr.), a pri vrućem zraku ili u plinovima izgaranja dolazi do spajanja metala s kisikom (slika 1) prema sljedećoj kemijskoj reakciji [3]:

$$x\,Me(s) + y/2\,O_2(g) \leftrightarrow Me_xO_y(s) \qquad (1)$$

gdje je Me metal, a Me_xO_y metalni oksid.

Javlja se u vrućim plinovima, odnosno dimnim plinovima i u nevodenim tekućinama goriva i maziva koja ne provode električnu struju.



Slika 1. Oksidacija metala u vrućem zraku [3]

Oksid koji nastane na površini metala pritom može imati zaštitno djelovanje od daljnjeg korozijskog napada. Mjerilo kompaktnosti oksida pokazuje Pilling-Bedworthov omjer (PB-omjer) koji daje omjer volumena metalnog oksida i samog metala. Naime, Pilling i Bedworth su ustanovili da nastali metalni oksid na površini metala može imati slaba zaštitna svojstva, dobra zaštitna svojstva ili uopće ne štititi metal od daljnjeg procesa korozije [1]. Pa tako kad je PB < 1, oksid nema zaštitno djelovanje, kad je PB između 1 i 2,5, oksid je kompaktan i ima zaštitno djelovanje, a kod slučajeva kad je PB veći od 2,5 oksid nije kompaktan i nema zaštitno djelovanje. Drugim riječima, naoptimalniji PB-omjer bi bio između 1 i 2,5.

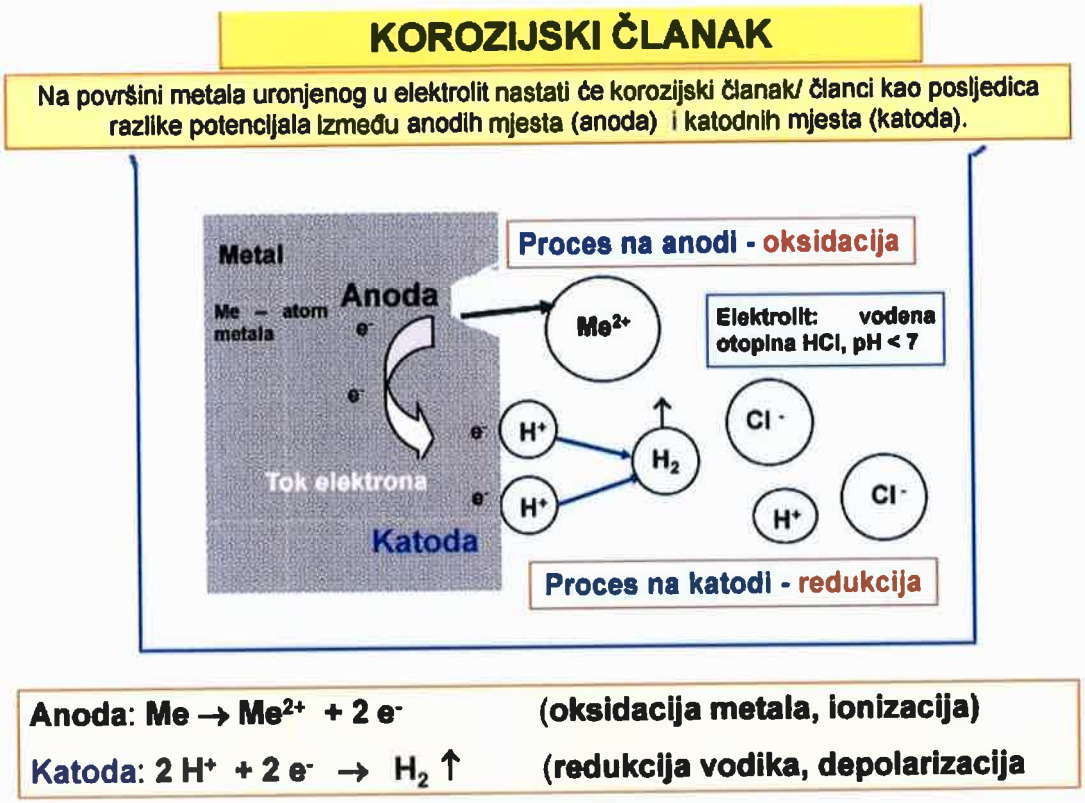
Primjer kemijske korozije može se vidjeti na slici 2, koja prikazuje kemijsku koroziju blok zakovica i zakivnih matica.

Slika 2. Kemijska korozija blok zakovica i zakivnih matica [6]

2.1.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija metala je korozija u elektrolitima i predstavlja kemijski redukcijsko-oksidacijski proces u kojem sudjeluju najmanje dva metala i elektrolit [3]. Ona je rezultat rada mikrogalvanskih članaka, a karakteriziraju je reakcija oksidacije i reakcija redukcije. Oksidacija je reakcija kojom neka tvar (reducens) oslobađa elektrone, pri čemu nastaje druga tvar. Redukcija je reakcija kojom neka tvar (oksidans) ili skupina tvari veže elektrone, pri čemu nastaje druga tvar ili skupina tvari. Oksidacija se odvija na anodi, a redukcija na katodi.

Na slici 3 prikazan je shematski prikaz procesa elektrokemijske korozije.

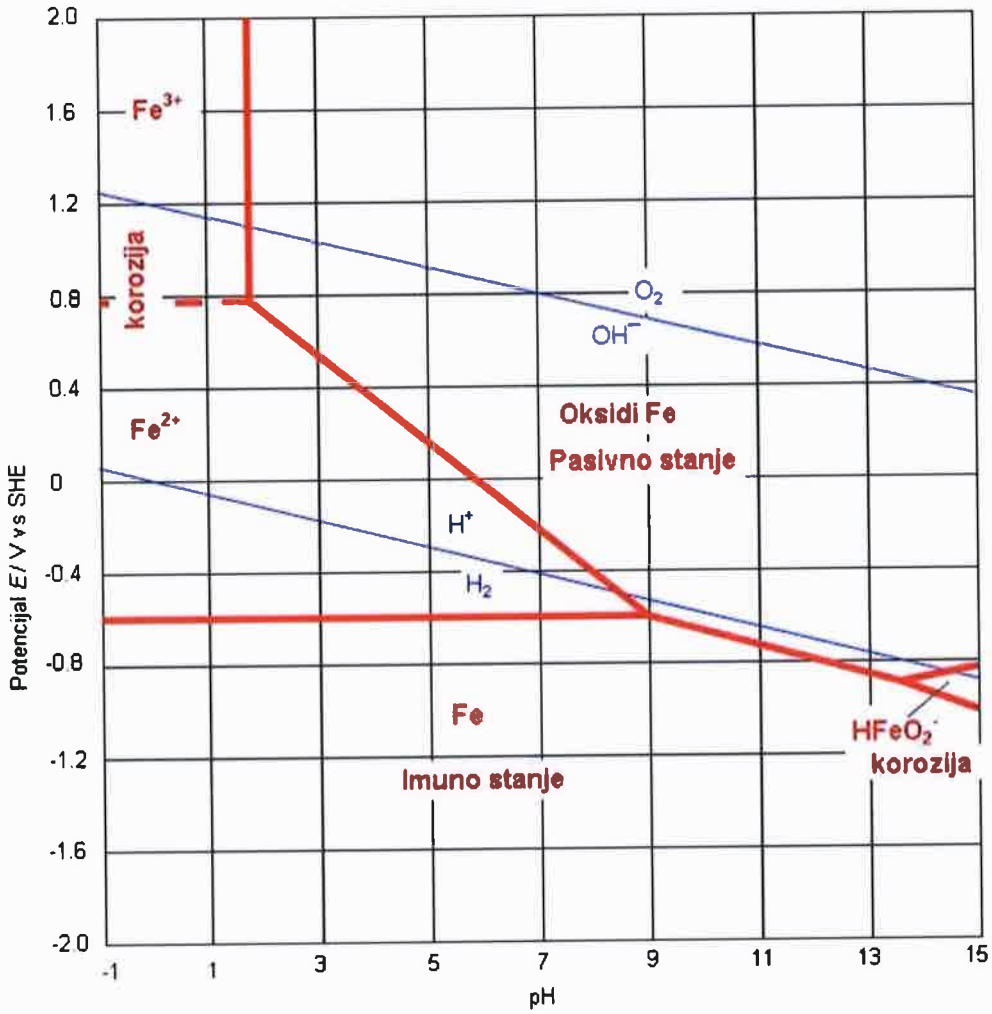


Slika 3. Shematski prikaz procesa elektrokemijske korozije [2]

Elektrokemijska korozija metala podsjeća na rad galvanskog članka u kojem se negativnija elektroda otapa kada je u kontaktu s drugom, pozitivnijom elektrodom na kojoj se reduciraju ioni vodika. Elektrokemijska nehomogenost površine metala, naročito prisutnost stranih metala uzrokuje pojavu anodnih i katodnih mjesta na površini metala koji u prisutnosti elektrolita podliježe koroziji [1,2]. Najčešći oksidansi u vodenim elektrolitima su otopljeni kisik i vodikovi kationi. Na te primarne reakcije na elektrodama korozijskoga članka obično se nadovezuju sekundarne reakcije, a koje često daju čvrste produkte. Proces na katodi ovisi o kemijskom sastavu i pH vrijednosti.

Elektrokemijski mehanizam se razlikuje od mehanizma kemijske korozije po tome što kod kemijske korozije elektron putuje kroz oksidni sloj zajedno s metalnim kationom, dok kod elektrokemijske korozije putovanje metalnog kationa je potpuno odvojeno od elektrona.

Najveći broj korozijskih procesa spada u elektrokemijsku koroziju. Belgijski znanstvenik M. Pourbaix izradio je elektrokemijsku ravnotežu za većinu metala u vodenim otopinama. Pourbaixovi dijagrami ili dijagrami ovisnosti potencijala o pH su grafički prikazi ravnotežnih reverzibilnih, redoks potencijala, iskazanih u odnosu na standardnu vodikovu elektrodu u ovisnosti o pH, pri zadanim koncentracijama i određenoj temperaturi [3]. Na slici 4 prikazan je Pourbaixov dijagram za željezo.



Slika 4. Pourbaixov dijagram za željezo [3]

Pourbaxiov dijagram se sastoji od nekoliko područja međusobno podijeljenih krivuljama. Položaj granica područja ne ovisi samo o pH, nego i drugim ionima koji sudjeluju u uspostavljanju ravnoteže. Iz ovog dijagrama može se s termodinamičkog stajališta procijeniti područje korozije, imuniteta i pasivnosti metala. Na dijagramu na slici 4 vidljivo je da je u području pH vrijednosti od 0 do 10 termodinamički moguća korozija željeza uz razvijanje

vodika odnosno redukciju kisika. U području imuniteta nije moguća korozija željeza, jer su potencijali negativniji od ravnotežnog potencijala Fe/ Fe^{2+} elektrode, tako da u tom području može doći samo do izlučivanja vodika. Drugim riječima, metal u području imunosti ne može korodirati, u aktivnom području će sigurno korodirati, a u pasivnom području se može pasivirati [3].

Ravnotežni potencijali redoks reakcija u ovisnosti o pH izračunavaju se preko Nernstove jednadžbe [1,7]:

$$E = E^{\theta} + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{ox}^{\nu_{ox}}}{a_{red}^{\nu_{red}}} \tag{2}$$

gdje je:
E – izmjerena vrijednost elektrodnog potencijala,
E^{θ} – standardni elektrodni potencijal,
z – broj elektrona koji se izmjenjuje u redoks reakciji,
a_{ox} – aktivitet oksidiranog oblika,
a_{red} – aktivitet reduciranog oblika,
ν_{ox} – stehiometrijski koeficijent oksidiranog oblika,
ν_{red} – stehiometrijski koeficijent reduciranog oblika.

Standardni elektrodni potencijal E^{θ} predstavlja potencijal elektrode kad je aktivitet metalnih iona u otopini jednak jedinici [7]. Važno je za istaknuti da taj potencijal na određenoj temperaturi ima konstantnu i karakterističnu vrijednost, koja se nalazi u tablicama, a kada se vrijednosti poredaju od elektronegativnijeg prema elektropozitivnijem, to se naziva elektrokemijski niz elemenata ili Voltin niz (tablica 1). Iz vrijednosti Voltinog niza može se zaključiti koji metal je elektronegativniji, a koji elektropozitivniji, jer je važno istaknuti da će u korozijskom članku uvijek prije korodirati elektronegativniji metal.

Tablica 1. Niz standardnih potencijala nekih redoks-sustava u vodenim otopinama odgovarajućih iona na 25°C i njihovi temperaturni koeficijenti [8]

Sustav	Elektrodna reakcija	$E°$ (V)	$dE°/dT$ (mV/°)
Li^+/Li	$Li^+ + e \rightleftharpoons Li$	-3,845	+0,337
Rb^+/Rb	$Rb^+ + e \rightleftharpoons Rb$	-2,925	-0,374
Cs^+/Cs	$Cs^+ + e \rightleftharpoons Cs$	-2,923	-0,326
K^+/K	$K^+ + e \rightleftharpoons K$	-2,925	-0,209
Ba^{2+}/Ba	$Ba^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ba$	-2,90	+0,48
Sr^{2+}/Sr	$Sr^{2+} + 2e \rightleftharpoons Sr$	-2,89	+0,680
Ca^{2+}/Ca	$Ca^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ca$	-2,87	+0,696
Na^+/Na	$Na^+ + e \rightleftharpoons Na$	-2,714	+0,099
Mg^{2+}/Mg	$Mg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Mg$	-2,37	+0,974
Be^{2+}/Be	$Be^{2+} + 2e \rightleftharpoons Be$	-1,85	+1,44
Al^{3+}/Al	$Al^{3+} + 3e \rightleftharpoons Al$	-1,66	+1,375
Zn^{2+}/Zn	$Zn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Zn$	-0,763	+0,962
Ga^{3+}/Ga	$Ga^{3+} + 3e \rightleftharpoons Ga$	-0,529	+1,56
Fe^{2+}/Fe	$Fe^{2+} + 2e \rightleftharpoons Fe$	-0,44	+0,923
Cd^{2+}/Cd	$Cd^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cd$	-0,402	+0,778
In^{3+}/In	$In^{3+} + 3e \rightleftharpoons In$	-0,342	+1,27
Tl^+/Tl	$Tl^+ + e \rightleftharpoons Tl$	-0,335	-0,456
Co^{2+}/Co	$Co^{2+} + 2e \rightleftharpoons Co$	-0,277	+0,93
Ni^{2+}/Ni	$Ni^{2+} + 2e \leftrightarrow Ni$	-0,250	+0,93
Sn^{2+}/Sn	$Sn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Sn$	-0,136	+0,589
Pb^{2+}/Pb	$Pb^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pb$	-0,126	+0,420
Cu^{2+}/Cu	$Cu^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cu$	+0,337	+0,879
Hg_2^{2+}/Hg	$Hg_2^{2+} + 2e \rightleftharpoons 2Hg$	+0,789	-
Ag^+/Ag	$Ag^+ + e \rightleftharpoons Ag$	+0,799	-0,129
Pt^{2+}/Pt	$Pt^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pt$	+1,2	
Au^{3+}/Au	$Au^{3+} + 3e \rightleftharpoons Au$	+1,498	

Na slici 5 dan je primjer elektrokemijske korozije limenke za pakiranje voćnog kompota. Naime, do elektrokemijske korozije je došlo uslijed reakcije metalne osnove limenke i nejednolikog nanosa zaštitne prevlake, koji su bili u kontaktu s kompotom/elektrolitom.

Slika 5. Elektrokemijska korozija limenke za pakiranje voćnog kompota [9]

2.2. VRSTE KOROZIJE PREMA UVJETIMA ODVIJANJA KOROZIJSKOG PROCESA

Vrste korozije prema uvjetima odvijanja korozijskog procesa dijelimo na [10]:

- koroziju u plinovima,
- koroziju u neelektrolitima,
- koroziju u elektrolitima,
- koroziju u tlu,
- atmosfersku koroziju,
- kontaktnu koroziju,
- koroziju kod strujnog toka (korozija uslijed lutajućih struja),
- koroziju kod naprezanja,
- biokoroziju i
- tzv. Freting koroziju.

Korozija u plinovima ili plinska korozija je korozija koja se odvija u plinovima pri visokim temperaturama i visokim tlakovima, ali bez prisustva vlage, što znači da se atmosferska korozija ni u kojem slučaju ne može smatrati korozijom u plinovima. Najčešće se pojavljuje u procesnoj metalurgiji i kemijskoj industriji, a postoje i tzv. specijalni slučajevi plinske korozije kao što su: odugljičenje čelika, naugljičenje čelika, vodikova krhkost čelika, vodikova krhkost bakra te porast volumena sirovog željeza [10].

Korozija u neelektrolitima je kemijska korozija koja se pojavljuje kod podvrgavanja materijala agresivnom organskom mediju, npr. sumporu iz nafte. U prisustvu vlage i anorganskih soli, ova vrsta korozije prelazi u elektrokemijsku koroziju [1].

Korozija u elektrolitima je zapravo elektrokemijska korozija, a prema karakteru elektrolita dijeli se na koroziju u vodenim otopinama kiselina, soli i lužina. Također, može se podijeliti i prema načinu kontakta s elektrolitom na nepotpuno i povremeno uranjanje u mirnom eletkrolitu ili uz miješanje elektrolita [10].

Korozija u tlu je vrsta korozije koja se pojavljuje kod cjevovoda, plinovoda, spremnika, dijelova hidrocentrala itd., a budući je tlo vrlo kompleksan materijal, ne postoji sveobuhvatna teorija koja objašnjava ovu vrstu korozije [10,11]. Djelomično se tumači kao korozija metala u elektrolitima, jer je vlažna zemlja heterogeni kapilarni porozni sistem te kao takav predstavlja vodič drugoga reda. Na koroziju u tlu utječu vrsta i sastav tla, vlažnost i pH vrijednost tla, aeriranost i električna vodljivost tla, sadržaj topljivih iona i temperatura [1,10].

Kontaktna korozija je galvanska korozija koja se pojavljuje na kontaktu dvaju metala, pri čemu se elektronegativniji metal otapa, a elektropozitivniji metal ostaje zaštićen [1].

Korozija uslijed lutajućih struja nastaje uslijed djelovanja vanjskog eletkričnog polja na metal koji se nalazi u elektrolitu. Pojavljuje se kod električnih željeznica, tramvaja, cjevovoda te ukopanih metalnih cijevi. Budući tračnice nisu izolirane, dio struje prelazi u zemlju koja preuzima ulogu vodiča. Te lutajuće struje se koncentriraju oko nekog metalnog

objekta i na taj način izazivaju njegovu koroziju, a mogu dopirati i nekoliko desetaka kilometara od izvora [1,12].

Korozija kod naprezanja se naziva napetosnom korozijom, a predstavlja koroziju koja nastaje u trenutku kad se metalna konstrukcija istovremeno podvrgne mehaničkom naprezanju i djelovanju agresivnog medija. Karakterizira je pojava pukotina unutar materijala, koje nisu vidljive dok ne izazovu lom materijala. Najčešće nastaje u okolini zavarenih spojeva, tj. na mjestima gdje su zaostala naprezanja [11].

Biokorozija se pojavljuje u vodi, vlažnom tlu i atmosferi. Stoga, najčešće nastaje na brodovima i u lukama (slika 6) [13]. Na metalima se biokorozija najčešće karakterizira kao mikrobiološka korozija koju ubrzavaju bakterije, koje oslobađaju sumpor ili kisik, a hrane se zaštitnim prevlakama.

Slika 6. Biokorozija trupa broda [13]

Budući je tema ovog završnog rada atmosferska korozija metala i metalnih legura, o njoj će biti više riječi u narednom poglavlju.

2.3. VRSTE KOROZIJE PREMA OBLIKU KOROZIJSKOG OŠTEĆENJA

Prema prostornoj raspodjeli oštećenja koroziju dijelimo na površinsku, lokalnu i strukturnu [10].

Površinska korozija može biti [10]:

- ravnomjerna i
- neravnomjerna.

Lokalna korozija može biti [10]:

- pjegasta korozija,
- jamičasta/jamasta korozija,
- točkasta ili igličasta (pitting) korozija i
- podpovršinska.

Strukturnu koroziju dijelimo na [10]:

- interkristalnu i
- transkristalnu.

Površinska ili opća korozija zahvaća cijelu površinu metala, a pojavljuje se kad je cijela površina metala izložena djelovanju agresivnog medija pod približno jednakim uvjetima (npr. limovi) [3] Neravnomjerna opća korozija je opasnija od ravnomjerne, jer se ne može kao kod ravnomjerne lako pratiti proces i pravodobno zamijeniti materijal novim.

Lokalna korozija je najopasniji oblik korozije, a napada samo neke dijelove metalnih konstrukcija (slika 7). *Pjegasta korozija* kao oblik lokalne korozije predstavlja plitko zahvaćena područja metala korozijom, koja podsjećaju na pjege. Slična njoj je *jamičasta korozija* koja dublje zahvaća područja metala. *Rupičasta ili „pitting" korozija* je najopasniji oblik lokalne korozije jer duboko prodire unutar materijala, gdje pritom samo jedan „pit" može dovesti do loma konstrukcije. Teško ju je predvidjeti i otkriti, jer se odvija vrlo brzo bez vidljivih naznaka. Ovoj vrsti su skloni brojni metali poput željeza, nikla, aluminija, magnezija, bakra, cinka te njihovih legura [1,14].

Podpovršinska lokalna korozija se pojavljuje kad se izvori točkaste korozije šire duboko u materijal i raslojavaju ga ispod površine. Pritom nastaju mjehuri zbog nagomilavanja korozijskih produkata [15].

a) PJEGASTA KOROZIJA

b) JAMIČASTA KOROZIJA

c) TOČKASTA (PITTING) KOROZIJA

d) PODPOVRŠINSKA KOROZIJA

Slika 7. Različiti oblici korozijskog oštećenja kod lokalne korozije [1,16]

Interkristalna ili intergranularna korozija nastaje duž granica zrna i vrlo je opasna jer dugo ostaje neprimijećena. Dovodi do smanjenja čvrstoće materijala i naposljetku do loma. Može nastati i kao posljedica napetosne korozije [1,3].

Transkristalna ili transgranularna korozija se širi preko površine kristalnih zrna te tako zahvaća veću površinu materijala. Javlja se najčešće kod visokolegiranih čelika izloženih djelovanju kloridnih iona ili sumporovodika [1,2].

3. ATMOSFERSKA KOROZIJA

Atmosferska korozija je najraširenija i najuočljivija vrsta korozijskog procesa [17]. Atmosferska korozija nastaje zbog djelovanja čimbenika poput kisika i vlage. Posebno je jaka u industrijskim zonama i u primorskim predjelima. Kada jedan od tih čimbenika nedostaje, ne dolazi do atmosferske korozije. Tako npr. čelik neće korodirati u suhom zraku, kao što je onaj ispod ledišta vode ili kod relativne vlažnosti manje od 60% [1].

Metali su najčešće izloženi vlazi atmosfere i pogođeni su raznim vremenskim uvjetima, koji mogu biti jako snažni i dugotrajni. Takav doprinos se koncentrira na koroziju željeza i čelika. Od atmosferske korozije se potrebno zaštititi na vrijeme prije nego se uhvati sloj na osnovni metal i dođe do prodiranja i narušavanja strukture metala [18]. Atmosferska korozija slijedi mehanizam elektrokemijske korozije, što znači da se odvija uz prisustvo elektrolita, koji se stvara u tankom filmu na metalnoj površini [1].

Metali koji su izloženi nekontroliranoj atmosferi će korodirati brže i drugačijim mehanizmima, nego oni čuvani u čistom suhom zraku, iako nisu izloženi kiši. U suhoj atmosferi procesom oksidacije nastaje zaštitni oksidni sloj koji obično štiti osnovni metal. S vremenom kada se postigne dovoljno debeli sloj, dolazi do procesa narušavanja osnovnog metala.

Kada je metal izložen nepovoljnim atmosferskim uvjetima dolazi do pojave korozije. Prilikom prozračivanja i sušenja metala proces oštećivanja metala se uspori [18]. Primjer djelovanja atmosferske korozije na metale prikazan je na slici 8, gdje je vidljivo da vremenski utjecaj dovodi do propadanja materijala, ali i do narušavanja njegove funkcionalnosti i estetike.

Slika 8. Primjer djelovanja atmosferske korozije na ogradi [19]

S druge strane, korozijski produkti nastali kao posljedica djelovanja kisika i vlage u zraku mogu se koristiti u dekorativne svrhe. Tako npr. zelena patina na krovovima crkava i drugih objekata nastala je kao posljedica atmosferske korozije bakra te osim što štiti materijal od daljnjeg propadanja djeluje i dekorativno. U novije vrijeme koriste se i posebne vrste čelika, tzv. weathering čelik, koji se pod atmosferskim utjecajima presvlači dekorativnim narančasto-smeđim slojem korozijskog produkta.

3.1. PODJELA ATMOSFERSKE KOROZIJE PREMA STUPNJU VLAŽNOSTI

Atmosferska korozija prema stupnju vlažnosti dijeli se na [10]:

1. mokru,
2. vlažnu i
3. suhu.

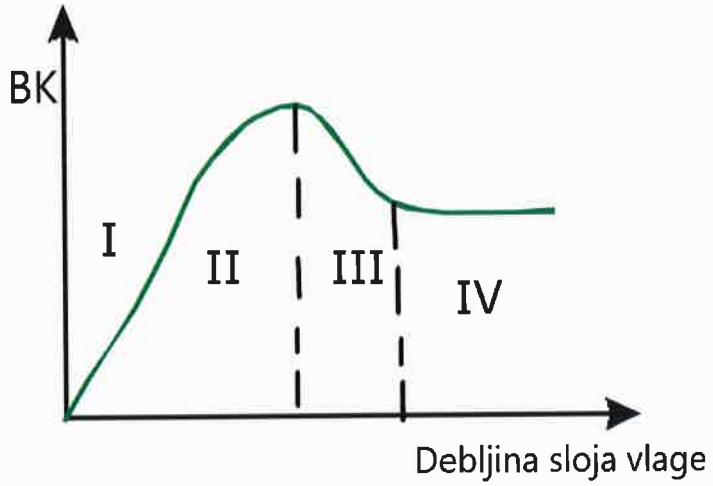
Mokra atmosferska korozija je elektrokemijski tip korozije metala koji je potpuno uronjen u elektrolit, tj. vlažnost iznosi 100 %. Mokra atmosferska korozija odvija se preko lokalnih mikrogalvanskih članaka, koji zbog tankog sloja vlage imaju izmjenjeni karakter.

Atmosferska korozija pri relativnoj vlažnosti zraka < 100 % naziva se vlažnom atmosferskom korozijom. Kod nje se stvara nevidljivi sloj vlage kao rezultat kapilarne adsorpcije ili kemijske kondenzacije.

Kod suhe atmosferske korozije je potpuna odsutnost vlage s površine. Ona se odvija prema čisto kemijskom mehanizmu korozijskog procesa. Neposredno međusobno djeluju metal i agresivni plin iz zraka. Korozijski produkti ostaju na površini metala. Kod nižih temperatura rast sloja se odvija po logaritamskom zakonu, dok se za većinu tehničkih važnih metala rast sloja odvija po parabolnom zakonu [10].

U praksi nije moguće oštro odijeliti ove vrste atmosferske korozije, jer neka konstrukcija može početi korodirati suhom korozijom, nastaviti mokrom i završiti vlažnom.

Na slici 9 prikazana je brzina korozije u ovisnosti o debljini sloja vlage na površini. Na dijagramu područje I prikazuje područje suhe atmosferske korozije, u kojem je vrlo mala brzina korozije i odvija se prema čisto kemijskom mehanizmu bez prisustva elektrolita. Područje II karakterizira nagli porast brzine korozije i prijelaz prema vlažnoj atmosferskoj koroziji. Mehanizam u tom području više nije kemijski, nego zapravo elektrokemijski. U području III vidimo kako porastom debljine sloja vlage opada brzina korozije, zbog čega je otežana difuzija kisika ili nekog drugog agresivnog plina. Područje IV predstavlja mokru atmosfersku koroziju, tj. imamo slučaj korozije metala uronjenog u elektrolit [10].



Slika 9. Brzina korozije u ovisnosti o debljini sloja vlage na površini [10]

3.2. MEHANIZAM ATMOSFERSKE KOROZIJE

Zbog prisutnosti vlage i nečistoće u atmosferi te malih razlika u temperaturi između atmosfere i metalne površine, pri nižem nivou vlažnosti nastaje mikroskopski površinski elektrolit. Atmosferska korozija se odvija u ravnoteži anodnih i katodnih reakcija [1].

U neutralnoj otopini elektrolita odvija se katodna reakcija redukcije kisika [1]:

$$O_2 + 2\,H_2O + 4\,e^- \rightarrow 4\,OH^- \qquad (3)$$

Reakcija se može odvijati u dva stupnja, s H_2O_2 kao intermedijarom [1]:

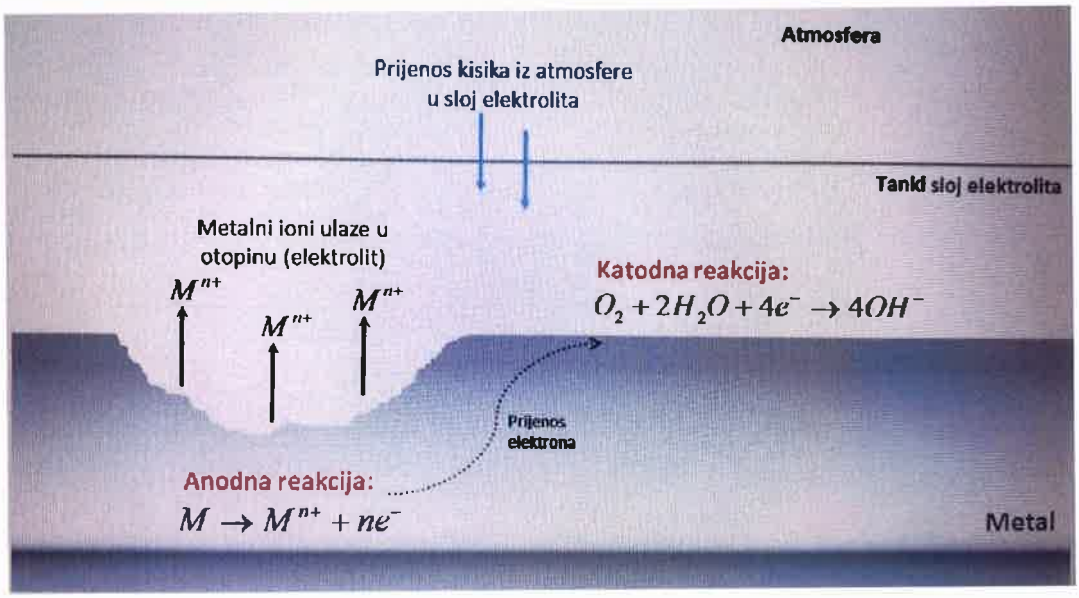
$$O_2 + 2\,H_2O + 2\,e^- \rightarrow H_2O_2 + 2OH^- \qquad (4)$$

$$H_2O_2 + 2\,e^- \rightarrow 2OH^- \qquad (5)$$

Pretpostavlja se da ukupna brzina atmosferske korozije nije kontrolirana katodnom reakcijom redukcije kisika, nego anodnom reakcijom. Jednadžba anodne reakcije metala izgleda ovako [1,10]:

$$Me \rightarrow Me^{z+} + z\,e^{-} \qquad (6)$$

Na ukupnu brzinu anodnog otapanja metala utječe topljivost korozijskih produkata u površinskom elektrolitu i stvaranje pasivnog filma [1]. Objašnjeni mehanizam atmosferske korozije prikazan je na slici 10.



Slika 10. Mehanizam atmosferske korozije [20]

3.3. FAKTORI KOJI UTJEČU NA BRZINU ATMOSFERSKE KOROZIJE

Faktori koji utječu na brzinu atmosferske korozije su [1,10]:

- sastav metala, odnosno legure,
- sastav elektrolita i njegova fizikalna svojstva,
- sastav atmosfere i geografski položaj,
- temperatura,
- debljina elektrolita i
- produkti korozije.

Svi metali podliježu koroziji pa čak i oni plemeniti u tzv. otopini zlatotopci. U korozijski otpornije tehničke materijale spadaju: bakar, aluminij, magnezij, cink, olovo, kositar, željezo, nikl, krom, kobalt, kadmij, srebro, zlato, platina, paladij i iridij [21]. Ukoliko željezu dodamo ugljik nastaje legura pod nazivom čelik. Čelik ima poboljšana svojstva u odnosu na čisto željezo, jer legirajući elementi doprinose poboljšanju mehaničkih svojstava i otpornosti prema koroziji. Tako npr. krom pospješuje prokaljivost i povećava otpornost čelika

prema koroziji. Također, poboljšava otpornost na trošenje, a uz njega se obično dodaje i nikal [21].

Konstrukcijski materijal će biti otporniji prema koroziji, ako je površina materijala pravilno obrađeno. S druge strane, svako mehaničko naprezanje materijala će dovesti do sklonosti koroziji i pucanju. Tako npr. kod izrade nacrta konstrukcija treba izbjegavati oštre bridove, jer su upravo takva mjesta idealna za nagomilavanje mehaničkih naprezanja i zaostalih napetosti unutar materijala.

Od *primjesa u zraku* na brzinu korozije najviše utječu plinovi, čvrste čestice i inertne čvrste čestice. Plinovi poput dušikovih oksida, HCl, SO_2, SO_3, NH_3, H_2S s vlagom dospijevaju na površinu metala gdje povećavaju vodljivost vlage i higroskopnost produkata korozije. Čvrste čestice iz zraka dospijevaju na površinu metala gdje mogu biti korozijski aktivne, kao npr. NaCl i Na_2SO_4. Oni djeluju kao depasivatori. Inertne čvrste čestice poput pijeska olakšavaju kapilarnu kondenzaciju vlage [3,10].

Na brzinu atmosferske korozije velik utjecaj ima *sastav atmosfere, klimatski uvjeti i geografski položaj* [10]. Najagresivnije su jako zagađene gradske atmosfere, a najmanje na brzinu korozije utječe čista i suha atmosfera. Utjecaj geografskog položaja vezan je za promjene u zraku (temperatura, vlažnost). Kod nezagađene atmosfere na atmosfersku koroziju utječe jedino vlaga u zraku. Povišenje temperature pri konstantnoj apsolutnoj vlažnosti smanjuje relativnu vlažnost, što otežava kondenzaciju vlage na površini, odnosno olakšava isparavanje vlage, čime dolazi do smanjenja korozije [10]. Utjecaj karaktera atmosfere na brzinu korozije prikazuje tablica 2.

Tablica 2. Utjecaj karaktera atmosfere na brzinu korozije [10]

Karakter atmosfere	Relativna brzina korozije
Suha kontinentalna	1-9
Morska čista	38
Morska industrijska	50
Industrijska	65
Industrijska jako zagađena	100

Jednadžbe za predviđanje procesa narušavanja strukture metala, tj. atmosferske korozije, moraju sadržavati vrijeme mokroga metala, kao i prosječnu temperaturu, prosječnu relativnu vlažnost, atmosfersku čistoću. Ove jednadžbe su ograničene vrijednosti, jer je gotovo nemoguće odrediti lokalne uvjete gotovo točno [18].

U tablici 3 su prikazane stope korozije čelika, koje su napravljene na surferskoj plaži na Lagosu [18].

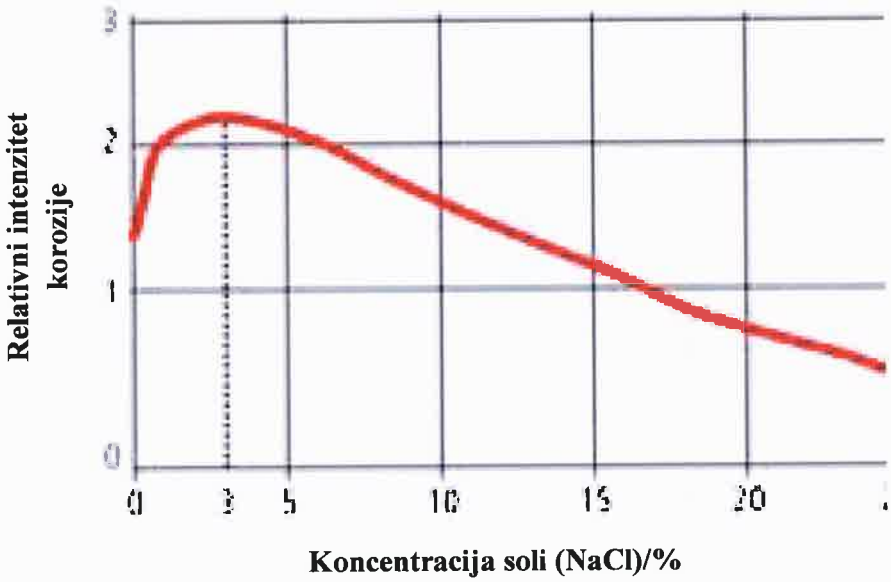
Tablica 3. Prikazane stope korozije čelika na surferskoj plaži na Lagosu [18]

Prosječna udaljenost od surfera (m)	Sol sadržana u zraku (mg NaCl/dm^2)	Brzina korozije (mm/god)
50	11.1	0,95
200	3.1	0,38
400	0.8	0,055
1300	0.2	0,04
25 milja	-	0,048

Prosječne stope korozije u Velikoj Britaniji variraju između 0,048 mm/god, u ruralnim područjima, 0,079 mm/god u primorskim područjima i do 0,17 mm/god u nekim industrijskim atmosferama. Tako je u najsušnijim atmosferama veličina nastajanja sloja niska, tek oko 0,003 mm/god.

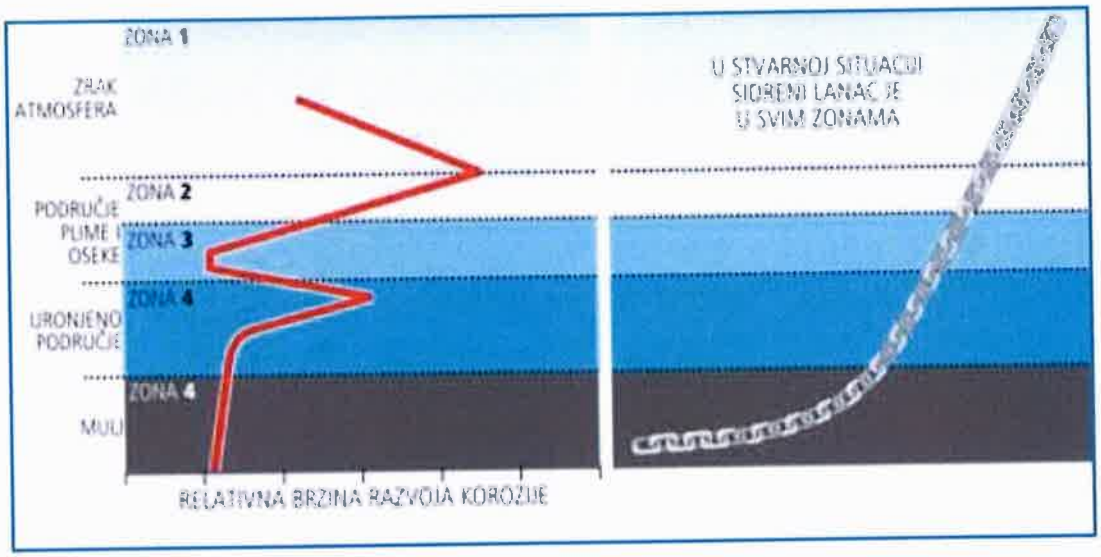
Općenito se može zaključiti da stalna vlažnost, visoke temperature i zagađenost jakim elektrolitima su odgovorne za najveće brzine korozije [18].

Koncentracija soli uvelike ima snažan utjecaj na brzinu korozije. Iz dijagrama prikazanog na slici 11 vidljivo je da je pri koncentraciji od 3,5% NaCl najveći relativni intenzitet korozije metala [22].



Slika 11. Utjecaj koncentracije soli NaCl na brzinu korozije [22]

S porastom *koncentracije kisika* u vodi brži je i proces korozije. Isto se događa i s povećanjem *temperature*. Dvostrukim povećanjem količine kisika duplo se povećava i brzina korozijskog procesa. Isto tako povećanjem temperature za 30°C dvostruko se uvećava i brzina korozije. Na slici 12 je prikazan dijagram utjecaja morske vode na lanac od nehrđajućeg čelika.



Slika 12. Utjecaj morske vode na metalne dijelove [22]

Slika pokazuje pojave korozije u situaciji kada morska voda dodiruje metalne dijelove, tj. lanac od nehrđajućeg čelika. U zoni 3 i 4, tj. u uronjenom području brzina korozije metala je dva ili tri puta intenzivnija od korozije u području mulja ili na zraku [22]. U zoni mulja nema nema dotoka kisika i zbog toga je brzina korozije manja. U zoni 1 i 2 brzina korozije je veća zbog nepovoljnih atmosferskih uvjeta.

Što se tiče ovisnosti brzine korozije o *pH elektrolita* metali se dijele u pet grupa [10]:

1. metali kod kojih brzina korozije ne ovisi o pH: Pt, Ag i Au.
2. metali koji su u kiselom mediju nestabilni, a u neutralnom i lužnatom stabilni: Ni, Co, Cd, Cu.
3. metali koji su stabilni u kiselom i neutralnom području, a nestabilni u lužnatom: Ta, Mo, W.
4. metali koji su u kiselom području izrazito nestabilni, u slabo lužnatom su stabilni, a u jako lužnatom dolazi do otapanja zaštitnih slojeva: Fe, Mg, Mn.
5. amfoterni metali koji su stabilni u neutralnom području.

Produkti korozije koji nastaju na metalima i metalnim legurama u nekim slučajevima imaju zaštitnu ulogu, jer predstavljaju barijeru daljnjem prodoru agresivnog medija do metala. To su slučajevi kada su nastali korozijski produkti kompaktni, npr. bakar a mjerilo kompaktnosti pokazuje Pilling-Bedworthov omjer, o kojem je bilo riječi u poglavlju kemijske korozije.

3.4. ATMOSFERSKA KOROZIJA NA RAZLIČITIM METALIMA I NJIHOVIM LEGURAMA

Pri atmosferskim uvjetima različiti metali različito korodiraju i različito se raspoznaju. Metali prema korozijskom ponašanju mogu biti aktivni, pasivni ili imuni. To znači da će aktivni metal korodirati, pasivni će vrlo sporo korodirati, jer im svojstvo pasivnosti omogućava nastanak zaštitnog pasivnog sloja, dok imuni neće korodirati, jer ne postoji afinitet za korozijski proces [3].

Ugljični čelik i lijevano željezo nisu otporni na atmosfersku koroziju, jer se na njihovoj površini stvaraju hidratizirani feri-hidroksidi tipa $Fe(OH)_3 \times H_2O$, koje nazivamo „hrđom". Povećanjem količina oborina i vlažnosti zraka dolazi do povećanja brzine atmosferske korozije, dok se dodatkom legirajućih elemenata poboljšavaju svojstva čelika i otpornost prema atmosferskoj koroziji [3,12]. Visokolegirana grafitna lijevana željeza našla su primjenu kod otpornosti od korozije, čvrstoće i otpornosti na oksidaciju pri visokim radnim temperaturama. Ljevovi koji su otporni na koroziju uključuju legure s 13 – 36% nikla te 14,5% silicija. Ljevovi visokog sadržaja silicija otporni na koroziju uključuju posebnu skupinu feritnih željeznih ljevova koji su otporni na koroziju. Koriste se u kemijskoj industriji za preradu i transport vrlo korozivnih medija. Upotrebljavaju se za izradu opreme za proizvodnju sumporne i dušične kiseline te zbrinjavanje pročišćenih otpadnih voda za preradu nafte te u proizvodnji gnojiva, tekstila i eksploziva [23].

Čisti krom se najčešće upotrebljava kao zaštitna prevlaka te kao legirajući element u čeliku i drugim legurama u svrhu povećanja korozijske otpornosti (npr. nehrđajući čelici).

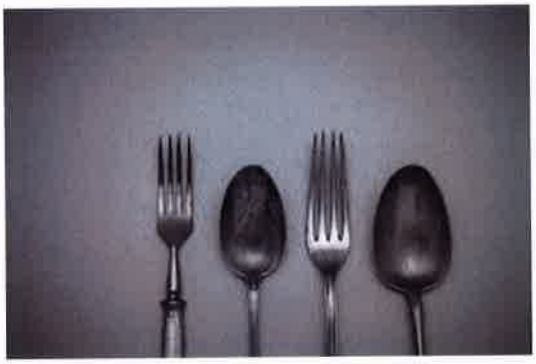
Nikal je srodan željezu po mnogim svojstvima, ali je korozijski dosta otporan. Na njega korozivno djeluju kromati, nitrati, oksidacijske soli, amonijak itd. Obično se za poboljšanje svojstava legira s Fe, Cr, Mn, Mo i Cu [14].

Nisu sve korozije štetne. Npr. dok kod željeza daljnjim korodiranjem nastaje neželjena hrđa koja uzrokuje propadanje i kasnije nestajanje metala, kod *bakra* je obrnuto. Korodiranjem bakra nastaje zaštitni površinski sloj plavozelenog bazičnog bakrova (II) karbonata $Cu_2(OH)_2CO_3$. Na slici 13 prikazan je primjer korodiranja bakra.

Slika 13. Prikaz korozije bakra na spomeniku [24]

Bakar je pogodan za proizvodnju kondenzatorskih cijevi, cijevi za vodu i metalnih površina koje su izložene vlažnoj atmosferi. U vlažnoj atmosferi se stvara sloj zelenkaste patine koja usporava koroziju, a s vremenom je u potpunosti sprječava. Korozija i korozijski zamor jako snižavaju otpornost bakra. Bakar je otporan prema organskim tvarima iako sadrži sumporne spojeve. Pogodan je u kontaktu s naftom, gumom, itd. U morskoj vodi korodira sporo, jer njegovi ioni sprječavaju obraštanje metala mikroorganizmima. Bakar se legira sa Sn, Al, Si, Ni, a najvažnija bakrena legura koja je veoma otporna na koroziju je legura bakra i cinka koja se naziva mjed [21].

Čisto srebro slabo oksidira, s vremenom gubi svoj sjaj i tamni. Zbog toga što je premekano dodaje mu se najčešće bakar koji utječe na korozijski produkt i može biti indikator čistoće srebra. Najčešći korozijski produkt srebra je srebrov sulfid. Na slici 14 je prikazano korodiranje pribora za jelo načinjenog od srebrove legure.



Slika 14. Prikaz korozije pribora za jelo načinjenog od srebrove legure [25]

Srebro nije postojano u nitratnoj i vrućoj sumpornoj kiselini i cijanidnim otopinama, ali je zato postojano u lužinama, prirodnim vodama, kloridnoj kiselini, otopinama raznih soli itd.

Aluminij je otporan prema atmosferskoj koroziji i od korozije ga štiti prirodni ili oksidacijom nastali oksidni film debljine 20 do 100 μm. Aluminij nije otporan u morskoj vodi, jer je izrazito sklon pojavi pitting lokalne korozije. Također nije otporan u lužinama i kloridnoj kiselini jer je izrazito amfoteran metal. Korozijska otpornost aluminija opada, ako se nalazi u kombinaciji s drugim metalima, kao npr. magnezij,željezo itd. Iznimke su duraluminij i silumin [3,21].

4. METODE ZAŠTITE OD ATMOSFERSKE KOROZIJE

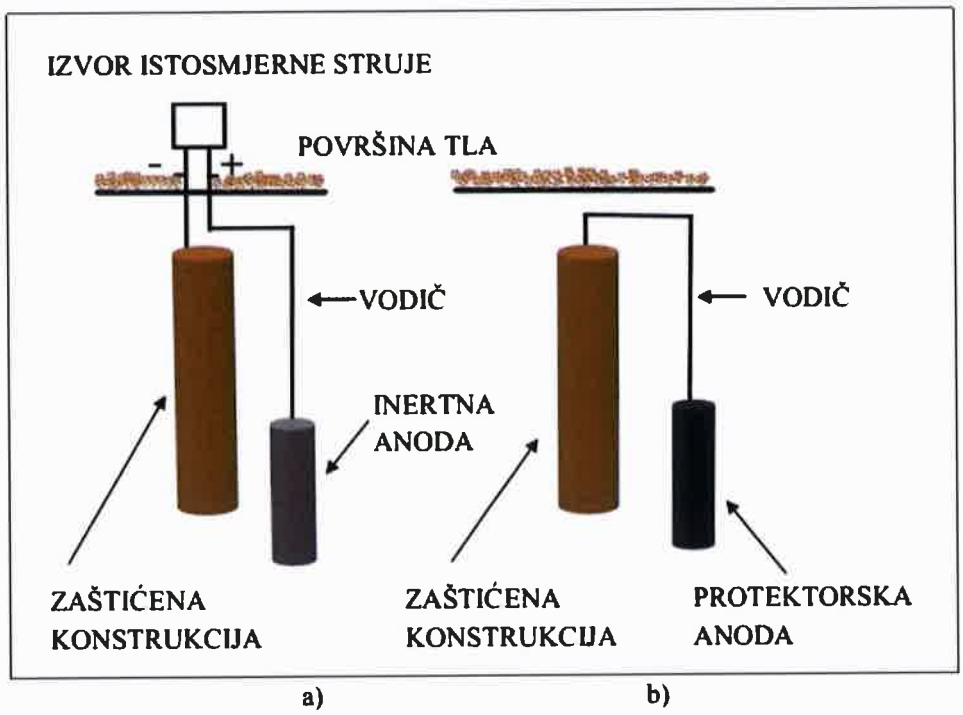
Najčešće metode zaštite materijala od atmosferske korozije su:

- elektrokemijska zaštita,
- zaštita obradom korozijske sredine i
- zaštita prevlakama [1,10].

Osim navedenih koriste se i sljedeće metode: prevođenje površine metala u okside koji imaju zaštitna svojstva, smanjenje elektroprovodljivosti sloja vlage na površini metala, utjecaj na kontrolirajuće procese (legiranje čelika s metalima koji se lako pasiviraju, dodatak katodnih primjesa, uvođenje pasivirajućih pigmenata u boje i lakove) itd. [10].

4.1. ELEKTROKEMIJSKA ZAŠTITA

Elektrokemijska zaštita metala dijeli se na anodnu i katodnu. Anodna zaštita podrazumijeva usporavanje korozijskog procesa pomicanjem elektrodnog potencijala u anodnom/pozitivnom smjeru, dok katodna označava usporavanje korozije pomicanjem elektrodnog potencijala u katodnom/negativnom smjeru. Obje vrste se izvode pomoću dvije metode: primjenom vanjskom izvora električne struje ili primjenom protektora (slika 15) [11].



Slika 15. a) Katodna zaštita vanjskim izvorom istosmjerne struje,
b) katodna zaštita protektorom [11]

Kod zaštite vanjskim izvorom istosmjerne struje elektroni se dobavljaju iz izvora istosmjerne struje. Konstrukcija je spojena na negativni pol, a pozitivni pol čini inertna elektroda/anoda (npr. grafit). Kod zaštite protektorom konstrukcija se spaja s negativnim polom, a na pozitivni pol se spaja elektroda načinjena od materijala koji ima elektronegativniji potencijal od metalne konstrukcije koja se želi zaštititi, npr. Mg ili Zn [11].

Ovakva vrsta zaštite od korozije najčešće se primjenjuje kod cjevovoda, ukopanih konstrukcija u vlažno tlo ili u morskoj vodi itd. Najveći nedostatak elektrokemijske zaštite vanjskim izvorom istosmjerne struje ili protektorom je što se anode troše i potrebno ih je s vremena na vrijeme zamijeniti novima. Ostali nedostaci su: relativno male zaštitne struje, nemogućnost primjene u sredinama s velikim otporom, zagađivanje okoliša produktima korozije itd. [1].

4.2. ZAŠTITA OBRADOM KOROZIJSKE SREDINE

Zaštita obradom korozijske sredine podrazumijeva uklanjanje aktivatora korozije ili dodavanje inhibitora korozije. Inhibitore korozije možemo definirati kao tvari anorganskog ili organskog porijekla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti [1,3,10].
Prema načinu djelovanja inhibitore dijelimo na [10,26]:

- anodne,
- katodne i
- miješane.

Prema pH području u kojem su aktivni ih dijelimo na kisele, neutralne i lužnate, a prema sastavu na organske i anorganske [1,3,10].

Anodni inhibitori sprječavaju ionizaciju metala, tj. otapanje metala. Najvažniji su anodni inhibitori, tj. topljive soli oksidativnih aniona, kakvi su kromati, nitriti, molibdati, volframati, i vanadati, koji u otopinama s pH 5-9 prevode Fe, Ni, Co i njihove legure u pasivno stanje (snažno kočenje procesa korozije = spora korozija). Takve inhibitore često nazivamo opasnima, jer uz nedovoljnu koncentraciju ne pasiviraju čitavu metalnu površinu, osjetno smanjujući anodnu i povećavajući katodnu površinu, što izaziva jamičastu koroziju. Osim pasivatora, među anodne inhibitore ubrajaju se i tzv. taložni inhibitori koji s ionima konstrukcijskog metala, nastalima na lokalnim anodama, daju slojeve netopljivih korozijskih produkata [14].

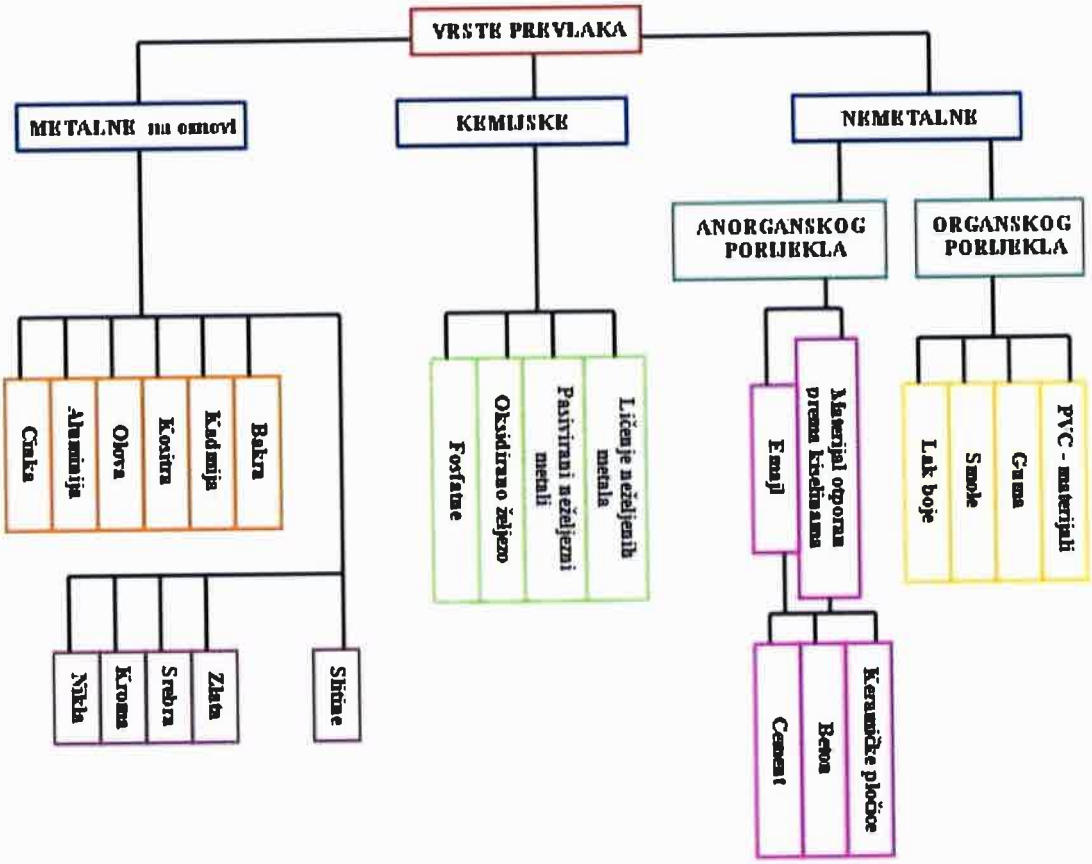
Katodni inhibitori izravno utječu na katodnu reakciju (redukciju vodika ili kisika) ili djeluju kao taložni inhibitori, tvoreći na lokalnim katodama netopljive produkte. Pri dekapiranju i kiselinskom čišćenju postrojenja i uređaja često se koriste inhibitori koji povećavaju prenapon redukcije H^+-iona i izlučivanja vodika (npr. spojevi As, Sb,Sn, Bi itd). U slabim kiselim, neutralnim i lužnatim otopinama u kojima je katodna reakcija korozijskog procesa redukcija kisika apsorbiranog iz zraka (redukcija kisika), koriste se katodni taložni inhibitori. Takvo djelovanje imaju cinkove i kalcijeve soli. Za razliku od anodnih i katodnih inhibitora dodani u bilo kojoj količini smanjuju brzinu korozije i nisu opasni [14,26].

Mješoviti inhibitori imaju dvostruko djelovanje, i anodno i katodno, koje dovodi do usporavanja anodne i katodne reakcije. To su najčešće organski spojevi koji se adsorbiraju na metalnu površinu, tvoreći spojeve u obliku zaštitnih monomolekularnih filmova, pa se često nazivaju i adsorpcijski inhibitori. Najpoznatiji su želatina, agar-agar, škrob, tanin itd. U ovu skupinu inhibitora spadaju i derivati acetilena, soli organskih kiselina, spojevi s dušikom i njihove soli (nitrati), spojevi sa sumporom, tioalkoholi, sulfidi itd. [14].

U novije vrijeme sve se više istražuju i koriste organski inhibitori koji su ekološki prihvatljivi [27]. Zbog povećane brige oko zaštite okoliša, došlo je do primjene strogih odredbi u pogledu korištenja opasnih inhibitora po zdravlje ljudi i okoliš. Velik broj inhibitora je skinut s popisa onih koji se mogu upotrebljavati pa su tako zabranjeni kromati, amini itd., a brojni istraživači su se okrenuli istraživanjima ekološki prihvatljivih organskih inhibitora poput artičoke, aloa vere, oguljine voća i sl. [28].

4.3. ZAŠTITA PREVLAKAMA

Jedna od najčešće korištenih metoda zaštite metala od korozije su zaštitne prevlake koje se dijele na metalne, nemetalne i kemijske, kao što je to prikazano na slici 16 [10,29].



Slika 16. Shematski prikaz prevlaka za površinsku zaštitu [10]

Zaštitne prevlake su najraširenije proizvodi za zaštitu od korozije. Koriste se za dugotrajnu zaštitu različitih konstrukcija u širokom nizu korozijskih agresivnih okoliša, a počevši od atmosferskog izlaganja, pa sve do najzahtjevnijih eksploatacijskih uvjeta u postrojenjima kemijske industrije. Činjenica da zaštitne prevlake koje čine vrlo mali udjel u ukupnom volumenu cijele konstrukcije čuvaju njezin integritet i osiguravaju mogućnost neometane eksploatacije dovoljno govori o njihovoj važnosti. U najvećem udjelu prema nekim podacima i preko 80% nastali tehnički problem očuvanja različitih konstrukcija od korozije rješava se odvajanjem osnovnog materijala koji ima dobra mehanička svojstva od korozivnog okoliša koji ga okružuje nanošenjem površinskog sloja tj. zaštitne prevlake [14].

Primarna funkcija svih prevlaka je zaštita od korozije. Sekundarna funkcija može biti postizanje određenih fizikalnih svojstava površine, zaštita od mehaničkog trošenja, postizanje estetskog dojma, povećanje dimenzija istrošenih dijelova, odnosno popravak loših proizvoda.

Metalne prevlake se mogu dobiti postupcima galvanizacije (elektroplatiranjem), metalizacijom vrućim postupcima, oblaganjem i ionskom izmjenom [11]. Galvanizacija je dobivanje metalnih prevlaka oblika slitina, oksida i drugih nemetala elektrolitičkim putem na metalnim i nemetalnim površinama [18]. To je jedan od najznačajnijih i najčešće upotrebljavanijih metoda dobivanja metalnih prevlaka. Stoga, najčešće se izvode

pocinčavanje, poniklavanje, pobakrivanje i sl. Metalizacija vrućim postupcima obuhvaća vruće uranjanje, difuziju i prskanje predmeta rastaljenim metalom. Vruće uranjanje se upotrebljava kad se žele dobiti prevlake veće debljine, a primjenjuje se kod različitih proizvoda te za zaštitu poluproizvoda poput limenih ploča, traka, žice i profila [14].

Nakon metalnih prevlaka, velik udio u zaštiti prevlakama zauzima zaštita nemetalnim prevlakama organskog porijekla poput boja, lakova, gume, bitumena i PVC materijala. Pritom, često na pojedinim kompleksnim konstrukcijama, kakve su npr. one brodske, pojedini dijelovi konstrukcije izloženi su različitim korozijskim okolišima, pa je s ciljem učinkovite zaštite potrebno o tome voditi dosta pažnje, tj. odabrati pogodne sustave zaštite premazima za svaki pojedini dio konstrukcije te ih nerijetko i kombinirati s drugim metodama zaštite (električne, zaštita inhibitorima, konstrukcijske mjere i sl.) kako je prikazano na slici 17.

Slika 17. Zaštita Eiffelova tornja od korozije pomoću zaštitnih prevlaka [14]

Eiffelov toranj se održava bojanjem. To je planirani sistem održavanja zbog relativno tankih debljina metala i strukturnih dijelova od kojih je toranj izrađen. Olakšavajuća okolnost je što su glavni nosivi dijelovi konstrukcije tornja, kao i ostali dijelovi građevine, lako dostupni za inspekciju i već prvi znakovi pojave hrđe mogu se otkriti te se tada bez odgađanja prilazi sanaciji. Već je tijekom izrade prvih elemenata konstrukcije tornja velika pažnja posvećena pripremi željeznih nosača za bojenje te nanošenju prvog sloja željezno-oksidne uljne boje. Tijekom montaže izvedena je zaštita zakovica, kao i oštećenih mjesta. Na ovaj temeljni sloj boje nanesena su zatim još dva sloja boje na bazi crvenog željeznog oksida u lanenom ulju koje je bilo bez onečišćenja izazvanih mineralnim uljima, kiselinama, smolama ili nekim drugim materijalom. Oksid je također bio bez onečišćenja stranim česticama i u tu svrhu izvedena su brojna kemijska ispitivanja da bi se postigla tražena čistoća. Takav sistem zaštite nanesen je početkom 1889. godine. Već 1892. godine smatralo se da je potrebno osvježiti boju, ukloniti hrđu i ostale nečistoće pa su nanesene prevlake olovne uljne boje.

Gospodin Eiffel je znao da vijek trajanja i sigurnost njegove konstrukcije tornja može biti ozbiljno ugrožena korozijom pogotovo u nižim dijelovima tornja [14]. Svakako da osnovni problem koji je inženjerima poznat i na čijem se rješenju radi predstavlja činjenica da se ne može do beskonačno nanositi nove slojeve boje na postojeće, također već poprilično debele slojeve.

Organske prevlake imaju nezamjenjivu ulogu u zaštiti metalnih konstrukcija od korozije. Učinkovitost zaštite ne ovisi isključivo samo o svojstvima prevlake, već i o karakteru same metalne osnove, pripremi površine i tehnologiji nanošenja prevlake. U praksi je stoga neophodno uzeti u obzir cijeli sustav i tehnologiju izvođenja zaštite uključujući i najčešće kompliciran sastav same prevlake. Zaštita metala premazima jedan je od najrasprostranjenijih postupaka zaštite u tehnici, čak ¾ metalnih površina zaštićeno je premazima. Osnovni razlog tome je relativno niska cijena premaza u odnosu na druge metode zaštite od korozije. Premazi se, osim u zaštitne svrhe, nanose i zbog poboljšanja estetskog izgleda metalne površine (dekorativni premazi) pa tako postoje bezbojni i različito obojeni premazi, zatim mutni, sjajni i mat premazi, a moguće je postići i dojam sjajnog ili kovanog metala. Postoje i razni specijalni premazi raznolike funkcije, kao na primjer: premazi za električnu izolaciju, kitovi, premazi za označavanje antivegetativni premazi za zaštitu podvodnih konstrukcija, protupožarni premazi itd. Osnovni cilj nanošenja je razdvajanje metalne podloge i okoliša pa stoga oni moraju biti dovoljno postojani i trajni u uvjetima eksploatacije. Najvažnije tehničko svojstvo premaza je trajnost.

Organske prevlake sastoje se od 4 osnovne komponente:

- veziva – neisparljive organske tvari u obliku viskoznih kapljevina ili smola,
- pigmenata – različiti anorganski oksidi, hidroksidi i soli, metalni elementi, ugljik i neki organski spojevi u obliku netopljivih čestica,
- aditiva i punila- npr. katalizatori polimerizacije, organski inhibitori korozije, prirodne i umjetne anorganske tvari
- otapala- najčešće su to smjese organskih kapljevina koje moraju biti prilagođene vrsti veziva [14].

Podjela premaza prema namjeni može se izvršiti na: temeljne boje ili primere, antikorozijske boje te premaze za zaštitu od obraštanja. Sprječavanje korozije postiže se pomoću učinka barijere, učinka inhibitora te galvanskih učinaka. Korozijska zaštita koju pružaju organske prevlake u osnovi je rezultat bilo barijernog djelovanja zaštitnog sloja, inhibiranja korozije pomoću aktivnog djelovanja pojedinih pigmenata u prevlaci ili galvanskog djelovanja pigmenata [14]. Od organskih prevlaka nakon boja, lakova i premaza može se izdvojiti primjer bitumenizacije. Bitumenizacija je postupak nanošenja bituminoznih tvari kao što su naftni bitumen i katran kamenog ugljena. U cilju zaštite koriste se čelične i betonske konstrukcije za zaštitu podzemnih i podvodnih konstrukcija. Postupak se izvodi lijepljenjem ili nataljivanjem bitumenskih bandaža (slika 18). Tijekom bitumeniziranja cijevi se najčešće rotiraju. Nataljivanjem čelične cijevi, bez armiranja dobiju se prevlake debljine 0,5-2,5 mm, a uz armiranje i do 5 mm. Temperaturno područje primjene bitumeniziranih prevlaka je ograničeno, a različitim postupcima obradbe bitumena ili katrana temperaturno područje prevlaka može se proširiti od -15 do 120°C [30].

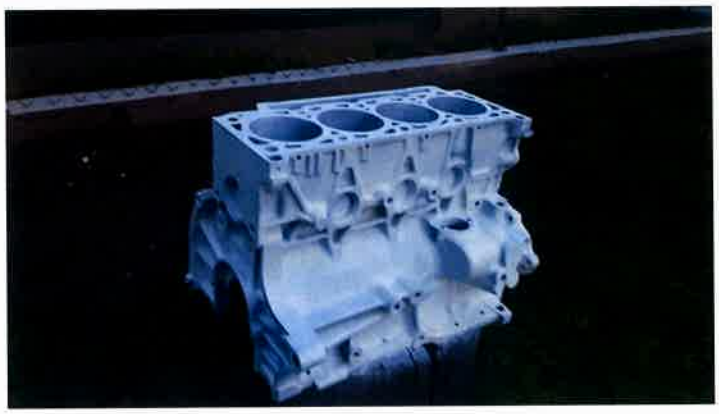
Slika 18. Ugradnja bitumenskih traka [30]

Prije samog nanošenja zaštitne prevlake, metal koji želimo zaštititi trebamo prethodno dobro pripremiti. Prema načinu izvođenja pripremu dijelimo na mehaničku, kemijsku i elektrokemijsku. U nastavku će se objasniti primjer zaštite bloka motora od korozije, koji sam osobno provela. Prvo se blok motora očisti sredstvom za odmašćivanje u cilju uklanjanja nečistoća. Pritom se dodaje antikorozivno sredstvo protiv korozije (hrđe), a to je benzin. Grublje nečistoće se skidaju četkanjem i brušenjem brusnim papirima. Nepristupačni dijelovi se čiste kemijskim putem uz primjenu određenih kemikalija. Po završetku kemijskog procesa blok motora treba dobro očistiti za što se može koristiti visokotlačni perač. Nakon ispiranja vodom, blok motora se ostavi da se osuši. Kada se osuši, opisani proces se ponovi bar još 3 do 4 puta ovisno po potrebi. Na slici 19 prikazan je očišćen blok motora pripremljen za zaštitu.

Slika 19. Blok motora očišćen mehaničkim i kemijskim putem

Kada je priprema završena, slijedi zaštita od korozije. Prvi slojevi zaštite koji se nanose su temeljna boja, koja je u ovom primjeru korištena u obliku spreja. Temeljna boja se

nanosi u tankom sloju te kada se sloj osuši, postupak se ponovi još 2 do 3 puta. Na slici 20 prikazan je blok motora zaštićen temeljnom bojom.



Slika 20. Blok motora zaštićen temeljnom bojom

Nakon što je nanesena temeljna boja, na blok motora se nanosi zaštitna boja po želji i prema namjeni. U ovom slučaju je odabran kromov sprej i taj postupak je ponovljen 2 puta uzastopno uz potrebno sušenje između ponavljanja. Na slici 21 prikazan je blok motora zaštićen od korozije pomoću kromove prevlake nanešene u obliku spreja. Takav blok motora poslužio je npr. kao osnova za izradu staklenog stola.

Slika 21. Blok motora zaštićen od korozije kromovom prevlakom

S obzirom na sve navedeno, izbor materijala za određenu namjenu je vrlo važan, ali je važan i odabir adekvatne zaštite od korozije. Zbog toga je neophodno napraviti analizu i procjenu troškova te vijeka duljine trajanja konstrukcijskog materijala u slučaju odabira skupog materijala ili jeftinijeg materijala kojeg će se zaštititi adekvatnom metodom antikorozijske zaštite. U borbi protiv atmosferske korozije najčešće se primjenjuju boje i lakovi od organskih prevlaka te metalne prevlake dobivene jednim od navedenih postupaka.

5. ZAKLJUČAK

Korozija je propadanje materijala uslijed fizikalnih, kemijskih i bioloških djelovanja te zbog nje nepovratno propadne velik dio metalnih konstrukcija. Posljednja istraživanja u SAD-u provedena u razdoblju od 1999. do 2001. godine pokazala su da godišnji troškovi zbog korozije iznose 275 milijardi dolara, što zapravo iznosi oko 3,1 % njihovog bruto nacionalnog dohotka. Korozija je spontan proces koji se ne može spriječiti, već samo usporiti. Ona predstavlja težnju metala za povratkom u svoje termodinamički stabilnije stanje, tj. stanje u kojem se nalazi u prirodi. Postoji nekoliko podjela korozijskih procesa, a najznačajnija je ona prema mehanizmu djelovanja, gdje se korozija dijeli na kemijsku i elektrokemijsku koroziju.

Atmosferska korozija se ponaša prema mehanizmu elektrokemijske korozije i najrašireniji je oblik korozije. Nastaje kao rezultat djelovanja kisika i vlage te ovisi o mnogobrojnim faktorima poput temperature, sastava legure, sastava i fizikalnih svojstava elektrolita, sastava atmosfere i geografskog položaja, svojstava nastalih produkata korozije itd. Jedan od najznačajnih faktora je zapravo kompaktnost nastalog produkta korozije koji može imati zaštitnu ulogu u daljnjem procesu korozije. Mjerilo kompaktnosti oksida pokazuje Pilling-Bedworthov omjer, čija je najoptimalnija vrijednost između 1 i 2,5. U tom rasponu se može reći da nastaje zaštitni sloj koji je kompaktan i koji pokazuje zaštitnu ulogu od daljnjeg prodiranja korozije.

Materijale od atmosferske korozije možemo zaštititi pomoću nekoliko metoda, a najčešće korištene su zaštitne prevlake, elektrokemijska zaštita i zaštita obradom korozijske sredine (uklanjanje aktivatora ili dodavanje inhibitora). Metalne prevlake nanose se osim zbog zaštite od korozije i u dekorativne svrhe te radi poboljšavanja svojstava materijala poput povećanja otpornosti na trošenje, povećanja toplinske i električne vodljivosti i sl. Elektrokemijska zaštita se upotrebljava kao zaštita metalnih konstrukcija koje nisu lako pristupačne za održavanje zaštite premazima, kao što su npr. cjevovodi, kabeli, lučka postrojenja, brodovi, rezervoari, kondenzatori, izmjenjivači topline i različiti uređaji u kemijskoj industriji i rudarstvu.

Zbog svega navedenoga, vrlo je važno pri projektiranju neke konstrukcije umjesto primjene skupih materijala razmotriti primjenu jeftinijih konstrukcijskih materijala koji će se onda zaštititi adekvatnom metodom zaštite od korozije, a sve u cilju kako bi se produljio vijek trajanja konstrukcije te kako bi se izbjegli nepotrebni zastoji u proizvodnji, katastrofe, ljudske nesreće i materijalni gubici.

6. LITERATURA

[1] E. Stupnišek-Lisac, Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2007.

[2] V. Alar, Tehnologije II i proizvodne tehnologije, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013.

[3] V. Alar, Kemijska postojanost metala, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2015.

[4] M. Horvat, I. Samardžić, V. Kondić, Napetosna korozija, Tehnički glasnik, 5 (2011) pp. 103-109.

[5] https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=33255 (16.04.2020.)

[6] https://www.far.bo.it/en/chemical-corrosion.html (14.09.2020.)

[7] A. Begić Hadžipašić, Fizikalna kemija, predavanja, skripta, Sveučilište u Zgarebu Metalurški fakultet, Sisak, 2016.

[8] https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:115:808432 (14.09.2020.)

[9]https://repozitorij.ptfos.hr/islandora/object/ptfos%3A1095/datastream/PDF/view (14.09.2020.)

[10] A. Begić Hadžipašić, Korozija i zaštita metala, predavanja, interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2014.

[11] S. Brajčinović, A. Begić Hadžipašić, Vježbe iz korozije i zaštite metala, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak, 2020.

[12] V. Alar, V. Šimunović, I. Juraga, Teorija osnove korozijskih procesa i metode zaštite, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.

[13] A. Kovač, Zaštita brodskog trupa antivegetativnim premazima, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.

[14] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović, V. Alar, Mehanizmi zaštite od korozije, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.

[15] T. Lisak, Zaštitna svojstva emulzija za strojnu obradu, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013.

[16] https://www.fpp.uni-lj.si/mma/Korozija_kovin.pdf/2019051313253400/?m=1557746734, (14.09.2020.)

[17]https://www.cortecvci.com/International/croatia/AKacunic_thesis_HRV_ENG_original.pdf (14.09.2020.)

[18]http://resource.npl.co.uk/docs/science_technology/materials/life_management_of_materials/publications/online_guides/pdf/atmospheric_corrosion.pdf (10.07.2020.)

[19] https://pixnio.com/hr/objekti/vrata-prozor/vrata-hrde-cigle-zid-metala-ograde-arhitektura (14.09.2020.)

[20] A. Kaćunić, Zaštita ugljičkog čelika u morskom okolišu, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2010.

[21]https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180308_093522_sakan_2.Korozijska.svojstva.pojedinih.tehnickih.materijala.pdf (14.09.2020.)

[22] http://dang.hr/wp-content/uploads/2014/11/korozija-50.pdf (10.07.2020.)

[23] I. Gabrić, S. Šitić, Materijali I, Interna skripta, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Split, 2012.

[24] https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/15cf791a-4c97-4f29-84d9-17c1b47ceccc/kemija-2/m05/j05/index.html (25.06.2020.)

[25] https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/15cf791a-4c97-4f29-84d9-17c1b47ceccc/kemija-2/m05/j05/index.html (25.06.2020.)

[26] N. Bakula, Zaštita konstrukcijskog ugljičnog čelika inhibitorima korozije, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2005.

[27] E. Stupnišek-Lisac, H. Otmačić-Ćurković Korozija i okoliš, Interna skripta, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2015.

[28] J. Devčić, Ekološki prihvatljivi inhibitori korozije aluminija u kiselom mediju, Veleučilište u Karlovcu, Stručni studij prehrambena tehnologija Pivarstvo, Karlovac, 2019.

[29] I. Esih, Z. Dugi, Tehnologije zaštite od korozije I, Školska knjiga, Zagreb, 1989.

[30] https://docplayer.gr/58096024-Tema-hidroizolacija.html (25.06.2020.)

ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI

Ime: Valentina

Prezime: Ević

Datum rođenja: 09.04.1996.

Mjesto rođenja: Sisak, Hrvatska

Adresa: Galdovačka 265, Sisak 44000, Hrvatska

E-mail: tinaevic@gmail.com

OBRAZOVANJE

2003-2011. Osnovna škola Galdovo

2011-2015. Ekonomska škola Sisak

2017- Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, preddiplomski sveučilišni stručni izvanredni studij *Ljevarstvo*

VJEŠTINE

Strani jezici: Njemački jezik B1, Engleski jezik A1

Rad na računalu: MS office (Word, PowerPoint, Excel), Autocad

Ostale vještine: U slobodno vrijeme reguliranje prometa kao prometnik na raskrižju (od 16 godine života)